

**Semiconductor pressure sensor and measuring device for measuring differential pressure on sensor**

Patent Number: DE19957556  
Publication date: 2001-05-31  
Inventor(s): MUCHOW JOERG (DE)  
Applicant(s): BOSCH GMBH ROBERT (DE)  
Requested Patent: ☐ DE19957556  
Application Number: DE19991057556 19991130  
Priority Number(s): DE19991057556 19991130  
IPC Classification: G01L9/06; G01L9/06  
EC Classification: G01L1/22D2, G01L9/00D2B2, G01L9/06  
Equivalents: ☐ WO0140751

---

**Abstract**

---

The pressure sensor (1) includes a frame (2) which is at least partly formed of a semiconductor material. A membrane (3) is held in the frame. A measurement resistor (5) is arranged at a first location in or on the membrane (3). The resistor value is dependent on the deformation of the membrane. A compensation resistor (7) is arranged at a second location on or in the membrane. The resistance of this is also dependent on the deformation of the membrane. A measuring arrangement measures the absolute and/or differential pressure on the sensor. The change in electric resistance of the measurement resistor (5) is determined and the change in electric resistance of the compensation resistor (7) is also determined.

---

Data supplied from the esp@cenet database - I2



18 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

12 Off nl gungsschrift  
10 DE 199 57 556 A 1

61 Int. Cl. 7:  
G 01 L 9/06  
// G01L 9/06

21 Aktenzeichen: 199 57 556.8  
22 Anmeldetag: 30. 11. 1999  
43 Offenlegungstag: 31. 5. 2001

DE 199 57 556 A 1

71 Anmelder:  
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

72 Erfinder:  
Muchow, Joerg, 72124 Pliezhausen, DE

56 Entgegenhaltungen:

DE	29 40 955 C2
DE	28 09 549 C2
DE	197 01 055 A1
US	33 41 794
US	32 30 763
EP	00 83 496 A2

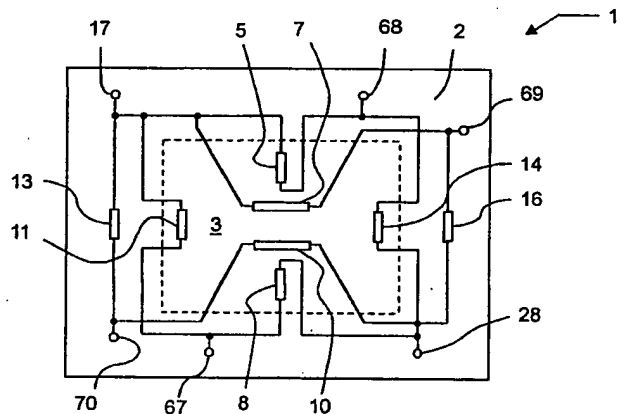
Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Halbleiter-Drucksensor und Meßanordnung

57 Die Erfindung geht aus einem Drucksensor (1; 200) und einer Meßanordnung (300) zur Messung des Differenzdrucks, dem der Drucksensor ausgesetzt ist, insbesondere für den Niederdruckbereich, nach der Gattung des jeweiligen unabhängigen Patentanspruchs.

Zur Verbesserung der Linearität des bekannten Drucksensors ist erfindungsgemäß insbesondere vorgesehen, den nichtlinearen Anteil des Ausgangssignals einer Wheatstoneschen Meßbrücke (50), die durch vier auf der Membran (3) des Drucksensors vorgesehene Meßwiderstände (5, 6, 8, 9, 11, 12, 14, 15) gebildet ist, durch den nichtlinearen Anteil des Ausgangssignals einer Wheatstoneschen Kompensationsbrücke (54) zu kompensieren, die durch zwei auf der Membran des Drucksensors angeordnete Kompensationswiderstände (7, 10) und zwei auf dem Rahmen (2) des Drucksensors vorgesehene Rahmenwiderstände (13, 16) gebildet ist.



DE 199 57 556 A 1

## Beschreibung

## Stand der Technik

Die Erfindung geht aus von einem Drucksensor und einer Meßanordnung zur Messung des Differenzdrucks, dem eine Membran des Drucksensors ausgesetzt ist, insbesondere für den Niederdruckbereich, nach der Gattung des jeweiligen unabhängigen Patentanspruchs.

Aus der DE 197 01 055 A1 ist ein mikromechanischer Halbleiter-Drucksensor bekannt, der einen Rahmen aus einem Halbleitersubstrat und eine auf dem Rahmen angeordnete Membran aufweist. Auf der Membran sind vier piezoresistive Meßwiderstände angebracht, die bei einer Deformation der Membran bzw. der Widerstände (infolge eines Differenzdrucks zwischen der Oberseite und der Unterseite der Membran) ihren Widerstandswert ändern. Jeweils zwei der vier Widerstände liegen parallel zueinander in der Nähe der Mitten der Begrenzungslinien der Membran. Ferner weist der Drucksensor vier Kompensationswiderstände auf, wovon jeweils zwei parallel zueinander und senkrecht zu den Meßwiderständen auf dem Rahmen des Drucksensors angeordnet sind. Alle Widerstände bilden eine in bezug auf eine vorliegende Temperaturhysterese kompensierte Wheatstonesche Meßbrücke, wobei deren Ausgangssignale aneinander diagonal gegenüberliegenden Ecken des Sensors abgegriffen werden. Jeder Meßwiderstand in der Wheatstoneschen Meßbrücke erfährt durch einen ihm zugeordneten Kompensationswiderstand seinen individuellen Hystereseausgleich.

Die Ausgangsspannung der Meßbrücke als Funktion des Differenzdrucks zwischen den beiden Seiten der Membran zeigt insbesondere bei der Messung geringer Differenzdrücke eine unerwünschte Nichtlinearität.

## Vorteile der Erfindung

Der erfindungsgemäße Drucksensor mit den kennzeichnenden Merkmalen des Anspruchs 1 hat demgegenüber den Vorteil, daß die unerwünschte Nichtlinearität, insbesondere bei geringen Differenzdrücken und/oder bei Messungen im Niederdruckbereich, kompensiert wird, wodurch mit dem erfindungsgemäßen Drucksensor Druckmessungen präzise und kostengünstig durchgeführt werden können. Ein Beispiel einer Messung von geringen Differenzdrücken ist eine Situation bei der auf der einen Seite der Membran des Sensors ein Druck lastet, der zwischen 0 und 50 mbar höher ist, als der Druck auf der anderen Seite der Membran.

Durch die in den abhängigen Ansprüchen aufgeführten Maßnahmen sind vorteilhafte Weiterbildungen und Verbesserungen des im Anspruch 1 angegebenen Drucksensors möglich. Besonders vorteilhaft ist es, auf der Membran vier Meßwiderstände anzuordnen, welche als Wheatstonesche Meßbrücke verschaltet sind und das Ausgangssignal dieser Wheatstoneschen Meßbrücke mit dem Ausgangssignal einer weiteren Wheatstoneschen Meßbrücke zu kompensieren, wobei die weitere Wheatstonesche Meßbrücke, eine sogenannte Kompensationsbrücke, durch zwei in der Membran vorgesehene Kompensationswiderstände und zwei in dem Rahmen des Sensors angeordnete Rahmenwiderstände gebildet wird.

Zur Erhöhung der Empfindlichkeit ist es von Vorteil, die Meßwiderstände jeweils an einem solchen Ort der Membran vorzusehen, der eine weitgehend maximale longitudinale und vorzugsweise auch maximale transversale Biegespannung der Membran erfährt, wodurch eine weitgehend maximale Widerstandsänderung herbeigeführt wird. Im Niederdruckbereich zeigt eine solche aus den Meßwiderständen

gebildete Wheatstonesche Meßbrücke eine Nichtlinearität als Funktion des Drucks von etwa 1 bis 2 Prozent.

Zur Verminderung der Nichtlinearität ist es vorteilhaft, die auf der Membran vorgesehenen Kompensationswiderstände jeweils an einem solchen Ort der Membran vorzusehen, der eine weitgehend minimale longitudinale und vorzugsweise auch minimale transversale Biegespannung der Membran aufweist. An einem solchen Ort wirkt weitgehend lediglich die Membranspannung der Membran auf den betreffenden Kompensationswiderstand. Werden die an diesen Orten der Membran vorgesehenen Kompensationswiderstände mit den auf dem Rahmen des Sensors vorgesehenen Rahmenwiderständen zu einer Kompensationsbrücke verschaltet, so zeigt das Ausgangssignal der Kompensationsbrücke als Funktion des Differenzdrucks zwischen den zwei Seiten der Membran eine weitgehend nichtlineare Abhängigkeit, insbesondere eine weitgehend quadratische Abhängigkeit, vom Differenzdruck.

Da auch das Ausgangssignal der aus den Meßwiderständen gebildeten Wheatstoneschen Meßbrücke ein nichtlineares, insbesondere quadratisches Abhängigkeitsverhältnis vom Differenzdruck zeigt, kann das Ausgangssignal der Wheatstoneschen Meßbrücke durch das Ausgangssignal der Kompensationsbrücke unmittelbar oder mittelbar nach einer Umwandlung der jeweiligen Ausgangssignale in eine andere elektrische Größe, wie zum Beispiel ein elektrischer Strom, kompensiert werden. Durch einen entsprechenden Abgriff der Ausgangsspannung der Kompensationsbrücke erhält man eine Spannung als Funktion des Differenzdrucks, die ein umgekehrtes Vorzeichen in bezug auf die Ausgangsspannung der Wheatstoneschen Meßbrücke aufweist. Hierdurch läßt sich die Kompensation der quadratischen Abhängigkeit der Ausgangsspannung der Wheatstoneschen Meßbrücke in technisch besonders einfacher Weise realisieren, worauf nachfolgend noch näher eingegangen werden wird.

Bei einem bevorzugten Ausführungsbeispiel erfolgt die Kompensation durch Subtraktion der jeweils in elektrische Ströme umgewandelten Ausgangsspannungen der Wheatstoneschen Meßbrücke und der Kompensationsbrücke. Hierzu wird das Ausgangssignal der Wheatstoneschen Meßbrücke, eine druckabhängige elektrische Spannung, einem ersten Spannungs-/Stromwandler (UI-Wandler) zugeführt und das Ausgangssignal der Kompensationsbrücke, ebenfalls eine druckabhängige elektrische Spannung, einem zweiten Spannungs-/Stromwandler. Die von den zwei UI- Wandlern erzeugten Ströme weisen ein umgekehrtes Vorzeichen auf und durch die Subtraktion der zwei elektrischen Ströme ergibt sich ein resultierender elektrischer Strom, dessen Stromstärke einen weitgehend linearen Verlauf als Funktion des Drucks zeigt.

Zur weiteren Verbesserung der Linearität des erfindungsgemäßen Drucksensors, ist bei einer erfindungsgemäßen Meßanordnung unter Verwendung eines erfindungsgemäßen Drucksensors vorgesehen, das Ausgangssignal der Kompensationsbrücke bzw. eine dem Ausgangssignal der Kompensationsbrücke entsprechende elektrische Größe, wie insbesondere ein zum Ausgangssignal bzw. zur Ausgangsspannung proportionaler elektrischer Strom, zu verstärken und die verstärkte elektrische Größe zur Kompensation der Nichtlinearität der Wheatstoneschen Meßbrücke zu verwenden.

Bevorzugt erfolgt die Verstärkung des Ausgangssignals der Kompensationsbrücke bzw. der diesem Signal adäquaten elektrischen Größe um einen solchen Faktor, daß das durch die verstärkte elektrische Größe kompensierte Ausgangssignal der Wheatstoneschen Meßbrücke (bzw. der diesem Ausgangssignal adäquaten elektrischen Größe) ein weitgehend lineares Verhalten zeigt. Es versteht sich, daß

die aus dem nichtlinearen Ausgangssignal der Kompensationsbrücke gebildete und zur Kompensation herangezogene elektrische Größe nicht zu stark zu verstärken ist, um eine Überkompensation und eine hieraus resultierende Nichtlinearität zu vermeiden.

Weiterhin ist es besonders vorteilhaft, wenn der Rahmen des Drucksensors und vorzugsweise auch die Membran des Drucksensors ganz oder teilweise durch Silizium gebildet wird, da dieses Material die Integration von Sensorelement und Meßanordnung bzw. Auswertelektronik auf einem Chip ermöglicht.

Schließlich ist es noch besonders vorteilhaft, den Rahmen und die Membran aus einem Silizium-Substrat herzustellen, das in einer (100)-Orientierung verwendet wird. Hierdurch läßt sich die Membran in einfacher Weise durch Ätzen des Silizium-Substrats mit einer Kaliumhydroxid-Ätze herstellen. Zudem weist ein Silizium-Substrat mit dieser Orientierung zwei [011]-Richtungen in der Substratoberfläche auf, in denen die Leitfähigkeit besonders empfindlich auf die Deformation der Membran reagiert. Bevorzugt werden die Meßwiderstände und die Kompensationswiderstände durch lokal dotierte Bereiche in der Membran bzw. im Rahmen gebildet.

Zur Reduzierung der Stromaufnahme des erfindungsgemäßen Drucksensors ist es besonders vorteilhaft, wenn die Meßwiderstände und/oder die Kompensationswiderstände einen elektrischen Widerstand aufweisen, der größer als 1 k $\Omega$  ist.

#### Zeichnungen

Die Erfindung wird nachfolgend anhand von nicht notwendigerweise maßstäblichen Zeichnungen näher erläutert, wobei gleiche Bezugszeichen gleiche oder gleichwirkende Schichten oder Teile bezeichnen. Es zeigen:

Fig. 1 eine Darstellung des Prinzips eines erfindungsgemäßen Halbleiter-Drucksensors mit einer Membran – in Draufsicht;

Fig. 2 eine bevorzugte Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Halbleiter-Drucksensors – in Draufsicht;

Fig. 3 den erfindungsgemäßen Halbleiter-Drucksensor der Fig. 2 entlang der Schnittlinie A-B der Fig. 2 – im Querschnitt; und

Fig. 4 ein Blockschaltbild einer erfindungsgemäßen Kompensationsschaltung anhand der das erfindungsgemäße Abgleichkonzept unter Verwendung eines erfindungsgemäßen Halbleiter-Drucksensors näher erläutert wird.

#### Beschreibung

Der in Fig. 1 in einer Prinzip-Darstellung abgebildete Halbleiter-Drucksensor 1 weist einen aus einem Silizium-Substrat gebildeten Rahmen 2 und eine vom Rahmen an dessen Deckfläche gehaltene Membran 3 auf.

Der Rahmen 2 und die Membran 3 werden aus einem Silizium-Substrat durch Maskierung und nachfolgende Ätzung der Rückseite des in Fig. 1 dargestellten Drucksensors 1 gebildet. Vorzugsweise wird eine Kaliumhydroxid-Ätze (KOH-Ätze) zur Herstellung einer sich in Richtung auf die Unterseite der Membran 3 verjüngenden pyramidenstumpfförmigen Aussparung mit trapezförmigem Querschnitt verwendet – zur Aussparung vgl. die Aussparung 41 in Fig. 3. Die pyramidenstumpfförmige Aussparung unterhalb der Membran 3 ergibt sich bei der bevorzugten Verwendung eines Silizium-Substrats, das eine (100)-Orientierung aufweist, weil eine KOH-Ätze unterschiedliche Ätzraten in der [100]- und der [110]-Kristall-Richtung von Silizium zeigt.

Die bevorzugte rechteckige Membran 3, die in Fig. 1 durch ein Quadrat mit gestricheltem Umriß bzw. Membrankanten

dargestellt ist, weist typischerweise eine Dicke von ca. 5 bis 80  $\mu\text{m}$  auf. Eine Membrankante "trennt" den Rahmen 2 von der Membran 3.

Es versteht sich, daß die Membran in Abhängigkeit von dem konkreten Einsatzzweck eines erfindungsgemäßen Drucksensors auch dünner oder dicker sein kann. Ebenso ist es möglich die erfindungsgemäßen Konzepte auf Membranen anzuwenden, die Bereiche mit unterschiedlicher Dicke aufweisen. Beispiele solcher Membranen sind Membranen mit biegesteifem Zentrum (sogenannte Boss-Membranen) und/oder mit biegesteifen Randbereichen. Ferner kann es zweckmäßig sein einen erfindungsgemäßen Drucksensor zu verwenden, der eine Membran aufweist, die einen anderen Umriß hat.

Die erfindungsgemäße Membran 3 gemäß Fig. 1 weist einen Meßwiderstand 5, einen Kompensationswiderstand 7, einen Meßwiderstand 8 und einen Kompensationswiderstand 10 sowie zwei weitere Meßwiderstände 11 und 14 auf. Außerhalb der Membran 3 sind auf dem Rahmen 2 zwei weitere Kompensationswiderstände 13 und 16 vorgesehen.

Eine Möglichkeit zur Herstellung eines unter der Membran liegenden Widerstands besteht darin, in eine n-dotierte Membran p-dotierte Bereiche (Basisdiffusion) einzudiffundieren. Nachfolgend wird dann eine epitaktische Schicht aufgewachsen und die Membran mittels eines sogenannten pn-Stops geätzt.

Bei den Widerständen handelt es sich bevorzugt um piezoresistive Widerstände mit einem – in Draufsicht – weitgehend rechteckigen Umriß, deren Widerstandswert sich bei einer mechanischen Verformung des Widerstands bzw. der Membran am Ort des betreffenden Widerstands ändert. Bevorzugt werden die Widerstände durch geeignet dotierte Bereiche der Membran gebildet.

Es versteht sich, daß anstelle eines Maskierungs- und nachfolgenden Dotierungs-Prozessschritts der Membran auch anders gebildete Widerstände verwendet werden können, deren Widerstandswert ebenfalls von der Verformung des betreffenden Widerstands abhängt und die beispielsweise auf, in oder unter der Membran vorgesehen sind. Ein auf oder unter der Membran vorgesehener Widerstand könnte beispielsweise durch eine Maskierung der Membran im Bereich des herzustellenden Widerstands und nachfolgendes Beschichten mit einem geeigneten Material erzeugt werden. Ebenso kann ein "vergrabener" Widerstand in der Membran erzeugt werden.

Wie insbesondere aus der nachfolgenden Funktionsbeschreibung deutlich werden wird, ist die anschließend beschriebene Geometrie des erfindungsgemäßen Drucksensors lediglich eine bevorzugte Ausführungsform der Erfindung; zahlreiche weitere Ausführungsformen sind möglich. So können die in der Fig. 2 auf dem Umriß eines gedachten, abgerundeten Rechtecks liegenden Kompensationswiderstände 7 und 10 jeweils auch auf einem anderen Punkt eines solchen Umrisses liegen. Bei einer quadratischen Membran wäre der betreffende Umriß in etwa ein abgerundetes Quadrat und für eine kreisförmige Membran ein Kreis.

Theoretisch bevorzugt ist die Anordnung der Membran-Kompensationswiderstände innerhalb der betreffenden Membran, d. h. exakt auf der neutralen Faser der Membran, da in diesem Bereich lediglich die Membranspannung und nicht die Biegespannung auf die Kompensationswiderstände wirkt. Da eine solche Anordnung (zumindest derzeit) technisch nur schwierig zu realisieren ist, werden die Kompensationswiderstände in der Praxis bevorzugt in die Oberfläche der betreffenden Membran eindiffundiert.

Wenn man die in Fig. 1 dargestellte Membran 3 mit dem Zifferblatt einer Uhr vergleicht, so weist die Längsachse des Meßwiderstands 5, der wie alle anderen piezoresistiven

Widerstände – in Draufsicht – einen weitgehend rechteckigen Umriß aufweist, in Richtung "zwölf Uhr" und ist in der Nähe der oberen Membrankante der Membran 3 in diese eingebracht.

Die Längsachse des Kompensationswiderstands 7 verläuft quer zur Längsachse des Meßwiderstands 5 und eine gedachte Mittelsenkrechte auf dessen Längsachse deckt sich in etwa mit der Längsachse des Meßwiderstands 5. Der Kompensationswiderstand 7 ist etwas außerhalb der Mitte der Membran 3 zwischen dem Zentrum der Membran 3 und dem Meßwiderstand 5 in diese eingebracht.

Der in die Membran 3 eingebrachte Meßwiderstand 14 ist gegenüber dem Meßwiderstand 5 parallel verschoben und eine gedachte Mittelsenkrechte auf der Längsachse des Meßwiderstand 14 weist mit ihrem einen Ende etwa in Richtung auf das Zentrum der Membran 3 und mit ihrem anderen Ende etwa in Richtung "drei Uhr". Der Meßwiderstand 14 befindet sich etwas entfernt von der rechten Membrankante der Membran 3 in dieser. Der Meßwiderstand 8 ist derart angeordnet, daß sich die Längsachse des Meßwiderstands 5 in etwa mit der Längsachse des Meßwiderstands 8 deckt und er ist weitgehend spiegelsymmetrisch zum Meßwiderstand 5 auf der gegenüberliegenden Seite der Membran 3 angeordnet.

Eine gedachte Mittelsenkrechte auf der Längsachse des Kompensationswiderstands 10 deckt sich in etwa mit der Längsachse des Meßwiderstands 8, d. h. der Kompensationswiderstand 10 verläuft quer zum Meßwiderstand 8. Der zum Kompensationswiderstand 7 weitgehend parallel bzw. spiegelsymmetrisch angeordnete Kompensationswiderstand 10 ist zwischen dem Meßwiderstand 8 und dem Zentrum der Membran 3 angeordnet.

Der Meßwiderstand 11 in der Membran 3 verläuft weitgehend parallel und auf gleicher Höhe wie der Meßwiderstand 14. Er ist weitgehend spiegelsymmetrisch zum Meßwiderstand 14 auf der – in bezug auf den Meßwiderstand 14 – gegenüberliegenden Seite der Membran 3 in der Nähe der linken Membrankante der Membran 3 in diese eingebracht.

In etwa parallel zum Meßwiderstand 14 ist der Kompensationswiderstand 16 auf dem Rahmen 2 des Halbleiter-Sensors 1 angeordnet. Auf der gegenüberliegenden Seite des Rahmens 2 befindet sich der Kompensationswiderstand 13 auf dem Rahmen 2 des Halbleiter-Sensors 1, wobei dessen Längsachse weitgehend parallel zur Längsachse des Meßwiderstands 11 verläuft. Der Kompensationswiderstand 13 befindet sich in etwa auf gleicher Höhe wie der Meßwiderstand 11.

Wie im Zusammenhang mit Fig. 4 näher erläutert werden wird, bilden die Meßwiderstände 5 und 14 sowie die Meßwiderstände 11 und 8 jeweils einen Zweig einer Meßbrücke (vgl. die Position 50 in Fig. 4), d. h. der Meßwiderstand 11 ist mit dem Meßwiderstand 8 und der Meßwiderstand 5 ist mit dem Meßwiderstand 14 in Reihe geschaltet. Ferner bilden die Kompensationswiderstände 13 und 10 sowie die Kompensationswiderstände 7 und 16 jeweils einen Zweig einer Kompensationsbrücke (vgl. die Position 51 in Fig. 4), d. h. der Kompensationswiderstand 13 ist mit dem Kompensationswiderstand 10 und der Kompensationswiderstand 7 ist mit dem Kompensationswiderstand 16 in Reihe geschaltet.

Der aus den Meßwiderständen 11 und 8 sowie der aus den Meßwiderständen 5 und 14 jeweils gebildete Zweig der Meßbrücke sind zueinander parallel geschaltet.

Ebenso sind die aus den Kompensationswiderständen 13 und 10 sowie 7 und 16 gebildeten Zweige der Kompensationsbrücke parallel geschaltet.

Ein Kontaktfeld 17 zum Anschluß der Versorgungsspannung des erfindungsgemäßen Halbleiter-Sensors 1 steht mit

dem Eingang der Meßbrücke, der durch die parallel verschalteten Meßwiderstände 11 und 5 gebildet wird, in einer elektrischen Verbindung. Ferner steht das Kontaktfeld 17 mit dem Eingang der Kompensationsbrücke, der durch die parallel geschalteten Kompensationswiderstände 13 und 7 gebildet ist, in einer elektrischen Verbindung. Kontaktfelder 68 und 67 bilden den Ausgang der Meßbrücke und Kontaktfelder 69 und 70 bilden den Ausgang der Kompensationsbrücke. An die Kontaktfelder 17 und 28 wird die Spannungsversorgung für den erfindungsgemäßen Halbleiter-Drucksensor 1 angeschlossen, worüber die Meß- und Kompensationsbrücke jeweils mit elektrischer Spannung versorgt wird. Das Kontaktfeld 28 ist der sogenannte Brückenfußpunkt.

Über ein Kontaktfeld 67, das mit der Leitung verbunden ist, die die Reihenschaltung der Meßwiderstände 11 und 8 bewirkt sowie über ein Kontaktfeld 68, das mit der Leitung in einer elektrischen Verbindung steht, die die Meßwiderstände 5 und 14 in Reihe schaltet, kann die an den Meßausgängen der Meßbrücke (50) anliegende elektrische Spannung vom Sensor 1 abgegriffen und der in Fig. 4 dargestellten Kompensationsschaltung 300 zugeführt werden.

Ebenso steht die elektrische Leitung, die die Kompensationswiderstände 13 und 10 in Reihe schaltet, mit einem Kontaktfeld 69 in einer elektrischen Verbindung. Ein Kontaktfeld 70 steht mit der elektrischen Leitung in Verbindung, die die Reihenschaltung der Kompensationswiderstände 13 und 10 bewirkt. Über die Kontaktfelder 69 und 70 kann die an den Meßausgängen der Kompensationsbrücke (51) anliegende elektrische Spannung vom Sensor 1 abgegriffen und der in Fig. 4 dargestellten Kompensationsschaltung 300 zugeführt werden.

Die Kontaktfelder 17, 68, 69, 28, 67 und 70 sind auf dem Rahmen 2 des in Fig. 1 dargestellten Drucksensors 1 angeordnet. Die elektrischen Verbindungen zwischen den Kontaktfeldern und den Widerständen bzw. zwischen den unterschiedlichen Widerständen wird vorzugsweise durch niederohmige Leiterbahnen erreicht, deren Verschaltung mit den Widerständen in Fig. 1 schematisch und in Fig. 2 in einer konkreten Ausgestaltung dargestellt sind. Vorzugsweise werden die Leiterbahnen bzw. elektrischen Verbindungen zur Bildung der Meßbrücke und der Kompensationsbrücke durch Bedampfung der Oberseite des Rahmens 2 und der Membran 3 mit einem Metall, wie z. B. mit Aluminium, Kupfer, Gold oder Platin, erreicht.

Es versteht sich, daß der erfindungsgemäße Drucksensor weitere Schichten aufweisen kann.

In Fig. 2 ist das Layout einer bevorzugten Ausführungsform des in Fig. 1 schematisch dargestellten, erfindungsgemäßen Halbleiter-Drucksensors – in Draufsicht – dargestellt. Das in Fig. 2 dargestellte Layout des Halbleiter-Drucksensors 200 ist, soweit nachfolgend nicht anders angegeben, identisch mit dem in Fig. 1 dargestellten Halbleiter-Sensor 1, wenn man davon absieht, daß Fig. 1 eine schematische Darstellung eines erfindungsgemäßen Halbleiter-Drucksensors zeigt.

Insbesondere weicht der in Fig. 2 dargestellte Halbleiter-Drucksensor 200 von dem in Fig. 1 dargestellten Halbleiter-Drucksensor 1 darin ab, daß der Meßwiderstand 5 der Fig. 1 in Fig. 2 durch zwei Meßwiderstände 5 und 6, der Meßwiderstand 14 durch zwei Meßwiderstände 14 und 15, der Meßwiderstand 8 durch zwei Meßwiderstände 8 und 9 und der Meßwiderstand 11 durch zwei Meßwiderstände 11 und 12 gebildet ist. Indem an den sogenannten ersten Orten der Membran, an denen die longitudinale und auch transversale Biegespannung der Membran maximal ist, anstelle eines Meßwiderstands eine Reihenschaltung aus jeweils zwei Meßwiderständen 5, 6; 14, 15; 8, 9; und 11, 12 vorgesehen

ist, ist es in technisch einfacher Weise möglich, einen aus zwei in Reihe geschalteten Meßwiderständen gebildeten Widerstand der Meßbrücke 50 zu bilden, der einen hohen Widerstandswert, vorzugsweise von mindestens ein  $1\text{ k}\Omega$ , aufweist. Hierdurch läßt sich die Stromaufnahme eines erfindungsgemäßen Halbleiter-Drucksensors deutlich reduzieren. Ferner ist es durch die Reihenschaltung von zwei Meßwiderständen möglich, "einen" hochohmigen Meßwiderstand durch geeignete Dotierung der Membran 3 des Halbleiter-Drucksensors 200 herzustellen.

Ferner läßt sich durch die erfindungsgemäße Verwendung von zwei Meßwiderständen, der "Offset" minimieren und das Verhältnis des Piezowiderstands zum Widerstand der Zuleitungen maximieren, wodurch sich eine maximale Empfindlichkeit der Meßanordnung ergibt.

Dementsprechend sind die in Fig. 4 als einzelne Widerstände der Wheatstoneschen Meßbrücke 50 dargestellten Widerstände, entsprechend der bevorzugten Ausführungsform des in Fig. 2 dargestellten Drucksensors 200, tatsächlich jeweils zwei in Reihe geschaltete Meßwiderstände.

Ein weiterer Unterschied des in Fig. 2 dargestellten Halbleiter-Drucksensors 200 gegenüber dem in Fig. 1 dargestellten Halbleiter-Drucksensor 1 besteht darin, daß die auf dem Rahmen 2 des Drucksensors 200 angeordneten Rahmenwiderstände 13 und 16 jeweils nicht parallel zu den Meßwiderständen 11 und 14 verlaufen. Diese sind zwar auch etwa auf gleicher Höhe wie die benachbarten, auf der Membran 3 befindlichen Meßwiderstände 11, 12 bzw. 14, 15 angeordnet, jedoch ist die Längsachse der Rahmenwiderstände jeweils um  $45^\circ$  im Uhrzeigersinn gegenüber der Längsachse des jeweils benachbarten Meßwiderstands verdreht.

Es versteht sich, daß sich die Ausrichtung der Rahmenwiderstände 13 und 16 auf dem Rahmen 2 an der konkreten Kristallorientierung des Rahmens bzw. des Halbleitersubstrats, aus dem der Drucksensor hergestellt wird, orientiert. Entscheidend ist, daß die Ausrichtung derart erfolgt, daß die Rahmenwiderstände piezounempfindlich gegen eventuell auftretende geringe Verformungen des Rahmens sind, wodurch sich eine höhere Meßgenauigkeit erreichen läßt.

Die auf dem Rahmen 2 angeordneten Kompensationswiderstände 13 und 16 liegen etwa je zur Hälfte auf dem Teil des Rahmens, der durch das nicht geätzte Silizium-Substrat gebildet ist und zur anderen Hälfte auf dem Übergangsbereich 4 zwischen dem Silizium-Substrat und der Membran 3. Hierdurch läßt sich zudem eine platzsparende Anordnung erreichen, so daß die Fläche des insgesamt benötigten Silizium-Substrats minimiert bzw. der eingesparte Platz zur vollständigen oder teilweisen Realisierung der in Fig. 4 dargestellten Kompensationsschaltung auf dem Rahmen 2 verwendet werden kann.

Bei Betrachtung der Fig. 2 fällt auf, daß die Kontaktfelder 17, 69, 28 und 70 etwa an den Ecken der Membran auf der Oberseite des Halbleiter-Drucksensors 200 im Übergangsbereich 4 angeordnet sind. Damit ergibt sich in vorteilhafter Weise eine übersichtliche Möglichkeit zum externen Anschluß des Halbleiter-Drucksensors 200 an eine Spannungsversorgung sowie die Möglichkeit des Abgriffs der Spannung an den Meßausgängen der Kompensationsbrücke. An dieser Anordnung der Kontaktfelder ist ferner von Vorteil, daß der Anschluß des Halbleiter-Drucksensors 200 ohne negative Auswirkungen auf das Deformationsverhalten der Membran 3 möglich ist. Ebenso sind auf der Oberseite des Halbleiter-Drucksensors 200 im Übergangsbereich 4 Kontaktzungen 67 und 68 vorgesehen, über die sich die Spannung an den Meßausgängen der aus den Meßwiderständen gebildeten Wheatstoneschen Meßbrücke abgreifen und ebenfalls, wie die Signale bzw. wie die Spannung an den Meßausgängen der Kompensationsbrücke 51 über die Kon-

taktfächen 69 und 70, der in Fig. 4 dargestellten Kompensationsschaltung 300 zuführen lassen.

Ferner sind die die Meßwiderstände verbindenden Leiterbahnen überwiegend, soweit möglich, parallel zur jeweiligen Membrankante in deren unmittelbarer Nähe auf dem Übergangsbereich 4 angeordnet. Dadurch können die Leiterbahnen, die die Meßwiderstände verbinden, möglichst kurz und damit niederohmig gehalten werden.

Soweit nötig, verlaufen die Leiterbahnen, die die auf dem Rahmen 2 angeordneten Kompensationswiderstände 13 und 16 mit der Kompensationsbrücke verbinden, auf der linken bzw. rechten Seite des Rahmens und weisen im Unterschied zu den Leiterbahnen, die die Meßwiderstände verbinden, einen größeren Abstand zu den jeweils benachbarten Membrankanten auf.

Nachfolgend wird das Layout der Verschaltung der Leiterbahnen des Drucksensors 200 detaillierter beschrieben. Das Kontaktfeld 17 steht über eine Zuleitung 20 mit dem einen Anschluß des Kompensationswiderstands 7 in Verbindung. Der andere Anschluß des Kompensationswiderstands 7 ist mit dem Kontaktfeld 69 über eine Zuleitung 21 verbunden. Das Kontaktfeld 69 ist über eine Leiterbahn 19 mit einer Verbindungsstelle 23 elektrisch verbunden, die ihrerseits mit dem einen Anschluß des Kompensationswiderstands 16 über eine Leiterbahn 24 verbunden, ist. Der andere Anschluß des Kompensationswiderstands 16 ist über eine Zuleitung 25 mit einer Kontaktstelle 26 verbunden. Die Kontaktstelle 26 steht über eine Leiterbahn 27 mit einem Kreuzungspunkt in Verbindung, der seinerseits durch eine Leiterbahn gebildet ist, die mit einer Leiterbahn 37 in Verbindung steht, die einen Anschluß des Meßwiderstands 14 kontaktiert. Ferner steht der Kreuzungspunkt mit einer Leiterbahn 40 in Verbindung, die einen Anschluß des Meßwiderstands 9 elektrisch kontaktiert. Schließlich steht der Kreuzungspunkt noch mit dem Kontaktfeld 28 in einer elektrischen Verbindung, das seinerseits mit einem Anschluß des Kompensationswiderstands 10 über eine Leiterbahn 35 verbunden ist. Der andere Anschluß des Kompensationswiderstands 10 ist über eine Leiterbahn 34 mit dem Kontaktfeld 70 verbunden, das seinerseits wiederum über eine Leiterbahn 32 mit einer Kontaktstelle 31 in einer elektrischen Verbindung steht. Eine Leiterbahn 30 verbindet die Kontaktstelle 31 mit einem Anschluß des Kompensationswiderstands 13. Der andere Anschluß des Kompensationswiderstands 13 steht über eine Leiterbahn 29, Kontaktstelle 22 und nachfolgend über eine Leiterbahn 18 mit dem Kontaktfeld 17 in einer elektrischen Verbindung, wodurch schließlich die Kompensationsbrücke 51 gebildet ist.

Das Kontaktfeld 17 steht zudem über die Leiterbahn 18 mit einem Anschluß des Meßwiderstands 5 in Verbindung, dessen anderer Anschluß über eine Kontaktbrücke mit einem Anschluß des Meßwiderstands 6 verbunden ist. Der andere Anschluß des Meßwiderstands 6 ist über eine Leiterbahn 36 mit einem Anschluß des Meßwiderstands 15 verbunden. Die Leiterbahn 36 ist mit der Kontaktzunge 68 versehen, die von der Membran 3 weg nach oben in den Übergangsbereich 4 zeigt. Der andere Anschluß des Meßwiderstands 15 ist über eine Kontaktbrücke mit einem Anschluß des Meßwiderstands 14 verbunden. Der andere Anschluß des Meßwiderstands 14 wird von der Leiterbahn 37 kontaktiert. Die mit der Leiterbahn 37 verbundene Leiterbahn 40 kontaktiert einen Anschluß des Meßwiderstands 9, der über eine Kontaktbrücke mit einem Anschluß des Meßwiderstands 8 verbunden ist. Der andere Anschluß des Meßwiderstands 8 steht mit einem Anschluß des Meßwiderstands 11 über eine Leiterbahn 39 in einer elektrischen Verbindung. Die Leiterbahn 39 besteht zum Teil aus der Kontaktzunge 67, die von der Membran 3 weg nach unten in den Über-

gangsbereich 4 zeigt. Der andere Anschluß des Meßwiderstands 11 ist über eine Kontaktbrücke mit einem Anschluß des Meßwiderstands 12 verbunden, dessen anderer Anschluß über eine Leiterbahn 38 mit der Leiterbahn 18 und dem Kontaktfeld 17 elektrisch verbunden ist, wodurch schließlich die Meßbrücke 50 gebildet ist.

Die Zuleitungen 20, 21, 35 und 34, die die auf der Membran 3 vorgesehenen Kompensationswiderstände 7 und 10 kontaktieren, verlaufen jeweils etwa diagonal über einen Teil der Membran 3, bevor sie die Kompensationswiderstände 7 und 10 kontaktieren.

Wie aus Fig. 3 ersichtlich ist, weisen die durch geeignete Dotierung der Membran 3 gebildeten Widerstände einen etwa halbkreisförmigen Querschnitt auf.

Nachfolgend wird die Funktion des erfindungsgemäßen Halbleiter-Sensors 1 und 200, wie er beispielhaft in den Fig. 1, 2 und 3 dargestellt ist, näher erläutert.

Die relative Widerstandsänderung eines in der Membran des erfindungsgemäßen Halbleiter-Sensors angeordneten piezoresistiven Widerstands als Funktion des Differenzdrucks zwischen den zwei Seiten der Membran kann näherungsweise wie folgt beschrieben werden:

$$\Delta R/R_0 \propto a(x, y, z) \Delta p + b (\Delta p)^2 \quad (1)$$

mit:

$\Delta R/R_0$  = relative Widerstandsänderung eines piezoresistiven Widerstands als Funktion des Differenzdrucks zwischen den zwei Seiten der Membran;

$\Delta p$  = der Differenzdruck zwischen den beiden Seiten der Membran;

$x, y, z$  = die räumlichen Koordinaten des (der Einfachheit halber auf einen einzigen Punkt reduzierten) konkreten Orts des piezoresistiven Widerstands in bezug auf die Membran;

$a$  = ein Faktor, der vom betreffenden piezoresistiven Widerstand, seinem Ort in bezug auf die konkrete Membran, der konkreten Membran und dem konkreten Sensor abhängt;

$b$  = ein Faktor, der vom betreffenden piezoresistiven Widerstand, seinem Ort in bezug auf die konkrete Membran, der konkreten Membran und dem konkreten Sensor abhängt;

$a(x, y, z) \Delta p$  = linearer Anteil an der relativen Widerstandsänderung infolge einer Änderung der Biegespannung;

$b (\Delta p)^2$  = ortsunabhängiger quadratischer Anteil an der relativen Widerstandsänderung infolge der Änderung der ortsunabhängigen Membranspannung.

Typischerweise ist der Faktor  $b$  des quadratischen Terms der vorstehenden Gleichung (1) deutlich kleiner als der Faktor  $a$  des linearen Terms der relativen Widerstandsänderung eines in einer Membran angeordneten piezoresistiven Widerstands als Funktion des Differenzdrucks zwischen den zwei Seiten der Membran. Ist der Differenzdruck zwischen den beiden Seiten der Membran relativ gering, ist die relative Widerstandsänderung weitgehend durch den linearen Term der Gleichung (1) bestimmt.

Wird nun jedoch ein piezoresistiver Widerstand in einem mikromechanischen Halbleiter-Sensor zur Messung eines Drucks im Niederdruckbereich verwendet, bei dem erfindungsgemäßen Halbleiter-Sensor typischerweise ein Bereich von etwa 0 bis 50 mbar, und trennt die Membran den Niederdruckbereich beispielsweise vom Vakuum, so wird der quadratische Term der Gleichung mit zunehmendem Differenzdruck, d. h. in diesem Beispiel dem Anstieg der Druckdifferenz von etwa 0 auf etwa 50 mbar, dominant gegenüber dem linearen Term der Gleichung. Dasselbe gilt beispielsweise entsprechend auch für eine Situation, bei der auf der einen Seite der Membran Normaldruck bzw. Atmosphärendruck herrscht und auf der anderen Seite der Membran ein Druck, der im Bereich von etwa 0 bis 50 mbar hö-

her oder niedriger ist.

Hieraus ergibt sich, daß die Widerstandskennlinie des piezoresistiven Widerstands mit zunehmendem Differenzdruck ein (in der Regel unerwünschtes) nichtlineares Verhalten zeigt.

Ein erster wesentlicher Aspekt der Erfindung zur Lösung dieses Problems besteht darin, den bzw. die in die Membran eines erfindungsgemäßen mikromechanischen Halbleiter-Drucksensors eingebrachten Meßwiderstände (siehe die Fig. 1, 2 und 3) in ihrer Form und in ihren Abmessungen derart zu bemessen, daß sie jeweils an solchen Stellen bzw. Orten der Membran in diese eingebracht werden können, an denen die Gesamtspannung, die sich im wesentlichen aus der linearen Biegespannung und der quadratischen Membranspannung zusammensetzt, groß, vorzugsweise weitgehend maximal, ist.

Indem der bzw. die Meßwiderstände an dieser Stelle bzw. an diesen Stellen der Membran angeordnet sind, ergibt sich im Unterschied zu anderen Stellen der Membran, die diese Eigenschaften nicht aufweisen, eine hohe, bevorzugt eine weitgehend maximale relative Widerstandsänderung als Funktion des Differenzdrucks zwischen der Oberseite und der Unterseite der Membran und damit eine verbesserte Möglichkeit zur Messung des Differenzdrucks über die Auswertung der relativen Widerstandsänderung.

Ein zweiter wesentlicher Aspekt der Erfindung zur Lösung des genannten Problems der Nichtlinearität besteht darin, einen oder mehrere Membran-Kompensationswiderstände (siehe die Fig. 1, 2 und 3), in ihrer Form und in ihren Abmessungen so zu gestalten, daß diese jeweils an einer Stelle bzw. einem Ort der Membran angeordnet werden können, an dem jeweils weitgehend lediglich die quadratisch mit dem Differenzdruck verlaufende Membranspannung auf den betreffenden Membran-Kompensationswiderstand wirkt.

Bevorzugt wird also jeweils eine Stelle bzw. ein Ort für den oder die Membran-Kompensationswiderstände in der Membran gewählt, an dem eine minimale Biegespannung der Membran gegeben ist.

Vorzugsweise werden die Meß- und/oder Kompensationswiderstände der Membran durch Maskierung und nachfolgende geeignete lokale Dotierung der nicht maskierten Stellen der Membran in diese eingebracht. Dasselbe gilt für die auf dem Rahmen des erfindungsgemäßen Halbleiter-Sensors vorgesehenen Rahmenwiderstände (siehe die Fig. 1, 2 und 3).

Indem der bzw. die Kompensationswiderstände an dieser Stelle bzw. an diesen Stellen der Membran angeordnet sind, ergibt sich im Unterschied zu anderen Stellen bzw. Orten der Membran, die diese Eigenschaften nicht aufweisen, eine relative Widerstandsänderung des Kompensationswiderstands bzw. der Kompensationswiderstände als Funktion des Differenzdrucks zwischen der Oberseite und der Unterseite der Membran, die einen weitgehend quadratischen Verlauf zeigt. An dieser Stelle bzw. an diesen Stellen ist der lineare Term der obengenannten Gleichung (1) für die relative Widerstandsänderung weitgehend minimal bzw. Null und die relative Widerstandsänderung wird wesentlich durch die Membranspannung bestimmt. Die Membranspannung ist in bezug auf die Membran ortsunabhängig und zeigt eine quadratische Druckabhängigkeit. Ein Widerstand, der an einem Ort der Membran liegt, an dem sowohl die longitudinale als auch die transversale Biegespannung weitgehend Null ist, erfährt daher annähernd nur die Membranspannung.

Die nicht in der Membran vorgesehenen, auf bzw. im Rahmen des erfindungsgemäßen Drucksensors angeordneten Rahmenwiderstände sind weitgehend druckunabhängig, weil ein auf die Oberseite oder Unterseite der Membran wir-

kender Druck allenfalls zu einer sehr geringen Verformung des Rahmens führt, wobei die Verformung des Rahmens gegenüber der Verformung der Membran sehr gering ist.

Um jedoch auch die Möglichkeit einer Widerstandsänderung eines piezoresistiven Rahmenwiderstands infolge einer Verformung des Rahmens des Drucksensors weitgehend auszuschließen, ist bei einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung vorgesehen, den Rahmenwiderstand derart in bezug auf die Kristallorientierung des Rahmens anzuordnen, daß der Widerstand durch die Verformung des Rahmens nicht beeinflußt wird, d. h. daß dieser eine piezounempfindliche Ausrichtung ggü. der Kristallorientierung des Rahmens aufweist.

Es versteht sich, daß von dem erfindungsgemäßen Prinzip auch dann Gebrauch gemacht wird, wenn die Meß- und/oder Kompensationswiderstände lediglich in der Nähe der vorstehend beschriebenen (idealen) Stellen bzw. Orte der Membran bzw. des Rahmens des Drucksensors angeordnet werden.

Bevorzugt wird von piezoresistiven Widerständen Gebrauch gemacht; es versteht sich jedoch, daß auch ein oder mehrere andere Widerstände anstelle von piezoresistiven Widerständen verwendet werden können, die die genannten Eigenschaften ganz oder teilweise aufweisen.

Aufgrund der vorstehend beschriebenen Verschaltung der an den erfindungsgemäßen Stellen der Membran vorgesehenen Meßwiderstände zu einer Meßbrücke ergibt sich an den Kontaktfeldern 67 und 68, den Ausgängen der Meßbrücke, folgende Brückenspannung:

$$U_{\text{Meßbrücke}}(\Delta p) = ((R_t - R_l)/(R_t + R_l)) U_v \quad (2)$$

mit:

$U_{\text{Meßbrücke}}$  = elektrische Spannung infolge des Differenzdrucks  $\Delta p$  zwischen den beiden Seiten der Membran zwischen den zwei Zweigen der Meßbrücke, die an den Kontaktfeldern 67 und 68 des erfindungsgemäßen Halbleiter-Sensors abgegriffen wird;

$R_t$  = elektrischer Widerstand der piezoresistiven Widerstände der Meßbrücke, der von der transversalen Biegespannung an den piezoresistiven Meßwiderständen infolge des Differenzdrucks  $\Delta p$  zwischen den beiden Seiten der Membran abhängt;

$R_l$  = elektrischer Widerstand der piezoresistiven Widerstände der Meßbrücke, der von der longitudinalen Biegespannung an den piezoresistiven Meßwiderständen infolge des Differenzdrucks  $\Delta p$  zwischen den beiden Seiten der Membran abhängt;

$U_v$  = elektrische Spannung der Versorgungsspannung, die an den Kontaktfeldern 17 und 28 des erfindungsgemäßen Halbleiter-Sensors angelegt ist.

Aus dieser Gleichung (2) für die Ausgangsspannung der Meßbrücke wird deutlich, daß die Nichtlinearität der einzelnen Widerstände zu einer Nichtlinearität der Brückenspannung der Meßbrücke führt.

Die aus zwei druckunabhängigen piezoresistiven Widerständen auf dem Rahmen der Membran und zwei druckabhängigen Kompensationswiderständen an den erfindungsgemäßen Stellen auf der Membran des erfindungsgemäßen Halbleiter-Sensors gebildete Kompensationsbrücke weist an den Kontaktfeldern 69 und 70, den Meßausgängen der Kompensationsbrücke, eine elektrische Spannung auf, die durch die nachfolgende Gleichung näherungsweise beschrieben werden kann:

$$U_{\text{Kompensationsbrücke}} = ((R_{\text{komp}} - R_0)/(R_{\text{komp}} + R_0)) U_v \quad (3)$$

mit:

$U_{\text{Kompensationsbrücke}}$  = die elektrische Spannung der Kompensationsbrücke infolge des Differenzdrucks  $\Delta p$  zwischen den beiden Seiten der Membran, die an den Kontaktfeldern 69 und 70 des erfindungsgemäßen Halbleiter-Sensors abgegriffen wird;

$R_{\text{komp}}$  = der elektrische Widerstand der der Kompensationsbrücke;

$R_0 = R_{\text{komp}}$  (für  $\Delta p = 0$ ): der elektrische Widerstand der Kompensationsbrücke für einen Differenzdruck  $\Delta p = 0$ ;

$U_v$  = die Versorgungsspannung der Kompensationsbrücke.

Bei entsprechendem elektrischen Anschluß der durch die Kontaktfelder 69 und 70 gebildeten Ausgänge der Kompensationsbrücke sowie der durch die Kontaktfelder 67 und 68 gebildeten Ausgänge der Meßbrücke erhält man eine Ausgangsspannung der Kompensationsbrücke ( $U_{\text{Kompensationsbrücke}}$ ) als Funktion des Differenzdrucks ( $\Delta p$ ), welche ein umgekehrtes Vorzeichen im Vergleich zur Ausgangsspannung der Meßbrücke ( $U_{\text{Meßbrücke}}$ ) aufweist.

Die Kompensationsbrücke hat ferner eine geringere Empfindlichkeit als die Meßbrücke und die Nichtlinearität der Kompensationsbrücke ist deutlich höher als die Nichtlinearität der in der Membran vorgesehenen Meßwiderstände bzw. des Ausgangssignals der Meßbrücke. Dies ist durch die vorstehend erläuterte Anordnung der Membran-Kompensationswiderstände an jeweils einem Ort der Membran mit minimaler Biegespannung, an dem überwiegend lediglich die Membranspannung (ortsunabhängig und proportional zu  $(\Delta p)^2$ ) auf die Membran-Kompensationswiderstände wirkt, begründet.

Ein wesentlicher Aspekt der Erfindung zur Verminderung der Nichtlinearität der Ausgangsspannung (siehe Fig. 4) der zu einer Meßbrücke 50 verschalteten Meßwiderstände in der Membran besteht nun darin, den durch einen ersten Spannungs-/Stromwandler 54 aus der nichtlinearen Ausgangsspannung der Kompensationsbrücke 51 erzeugten ersten elektrischen Strom an dessen Ausgang 60 von dem durch einen zweiten Spannungs-/Stromwandler 53 aus der nichtlinearen Ausgangsspannung der Meßbrücke 50 erzeugten zweiten elektrischen Strom an dessen Ausgang 59 zu subtrahieren. Erfindungsgemäß erfolgt die Verschaltung derart, daß der erste elektrische Strom ein umgekehrtes Vorzeichen ggü. dem zweiten elektrischen Strom aufweist und sich die quadratischen Anteile beider Ströme ganz oder teilweise aufheben bzw. kompensieren.

Wie in Fig. 4 dargestellt, wird der zu subtrahierende erste elektrische Strom des Spannungs-/Stromwandlers 54 der Kompensationsbrücke 51 vor der Subtraktion derart verstärkt, daß der Absolutwert des quadratisch mit dem Differenzdruck verlaufenden Anteils des ersten elektrischen Stroms am Ausgang 60 weitgehend dem Absolutwert des quadratisch mit dem Differenzdruck verlaufenden Anteils des zweiten elektrischen Stroms am Ausgang 59 entspricht. Dann ergibt sich ein resultierender elektrischer Strom (siehe die Leitung 61 in Fig. 4), der einen weitgehend linearen Verlauf als Funktion des Differenzdrucks zeigt und zur Bestimmung des Differenzdrucks verwendet wird. Zum Abgleich des Spannungs-/Stromwandlers 54 bzw. zur Verstärkung des ersten elektrischen Stroms vor der Subtraktion der elektrischen Ströme, ist der Spannungs-/Stromwandler 54 mit einem Anschluß 52 zur Zuführung einer einstellbaren Abgleich-Spannung versehen.

Um die Stromaufnahme durch den erfindungsgemäßen Halbleiter-Sensor so gering wie möglich zu halten, weisen die Widerstände bevorzugt einen elektrischen Widerstand auf, der größer als 1 k $\Omega$  ist.



## Bezugszeichenliste

1 Halbleiter-Drucksensor	
2 Rahmen	
3 Membran	5
4 Übergangsbereich	
5 Meßwiderstand	
6 Meßwiderstand	
7 Membran-Kompensationswiderstand	
8 Meßwiderstand	10
9 Meßwiderstand	
10 Membran-Kompensationswiderstand	
11 Meßwiderstand	
12 Meßwiderstand	
13 Rahmenwiderstand	15
14 Meßwiderstand	
15 Meßwiderstand	
16 Rahmenwiderstand	
17 Kontaktfeld	
18 Leiterbahn	20
19 Leiterbahn	
20 Zuleitung	
21 Zuleitung	
22 Kontaktstelle	
23 Verbindungsstelle	25
24 Leiterbahn	
25 Leiterbahn	
26 Kontaktstelle	
27 Leiterbahn	
28 Kontaktfeld	30
30 Leiterbahn	
31 Kontaktstelle	
32 Leiterbahn	
34 Zuleitung	35
35 Zuleitung	
36 Leiterbahn	
37 Leiterbahn	
38 Leiterbahn	
39 Leiterbahn	
40 Leiterbahn	40
41 Aussparung	
50 Meßbrücke	
51 Kompensationsbrücke	
52 Anschluß zum Abgleich des Spannungs-/Stromwandlers der Kompensationsbrücke	45
53 Spannungs-/Stromwandler	
54 Spannungs-/Stromwandler	
59 Ausgang eines Spannungs-/Stromwandlers	
60 Ausgang eines Spannungs-/Stromwandlers	
61 Leitung	50
67 Kontaktzunge	
68 Kontaktzunge	
69 Kontaktfeld	
70 Kontaktfeld	
200 Halbleiter-Drucksensor	55
300 Kompensationsschaltung	

## Patentansprüche

1. Drucksensor (1; 200), insbesondere für Messungen von niedrigen Absolutdrücken und/oder geringen Differenzdrücken, umfassend:
  - einen Rahmen (2), der zumindest teilweise durch ein Halbleitermaterial gebildet ist,
  - eine von dem Rahmen (2) gehaltene Membran (3),
  - mindestens einen Meßwiderstand (5, 6, 8, 9, 11, 12, 14, 15), der an einem ersten Ort in oder auf der

Membran (3) angeordnet ist und dessen Widerstandswert von der Verformung der Membran (3) abhängt,

gekennzeichnet durch mindestens einen Kompensationswiderstand (7, 10), der an einem zweiten Ort in oder auf der Membran (2) angeordnet ist und dessen Widerstandswert von der Verformung der Membran (3) abhängt.

2. Drucksensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der an dem ersten Ort der Membran (3) befindliche Meßwiderstand (5, 6, 8, 9, 11, 12, 14, 15) eine in bezug auf andere Orte der Membran weitgehend maximale Widerstandsänderung bei der Beaufschlagung der Membran mit einem Differenzdruck erfährt, wobei an dem ersten Ort die sich aus linearer Biegespannung und quadratischer Membranspannung ergebende Gesamtspannung weitgehend maximal ist.

3. Drucksensor nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der an dem zweiten Ort der Membran (3) befindliche Kompensationswiderstand (7, 10) eine in bezug auf andere Orte der Membran weitgehend quadratische Widerstandsänderung als Funktion des Differenzdrucks zeigt, wobei an dem zweiten Ort weitgehend lediglich die quadratisch als Funktion des Differenzdrucks verlaufende Membranspannung auf den Kompensationswiderstand wirkt.

4. Drucksensor nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet,

- daß die Membran (3) mindestens vier Meßwiderstände (5, 6, 8, 9, 11, 12, 14, 15) aufweist, die jeweils an einem ersten Ort der Membran angeordnet sind, und

- daß die an den vier ersten Orten der Membran befindlichen Meßwiderstände (5, 6, 8, 9, 11, 12, 14, 15) zu einer ersten Ringschaltung bzw. Wheatstoneschen Meßbrücke (50) oder zu einem Meßwandler verschaltet sind.

5. Drucksensor nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet,

- daß die Membran (3) mindestens zwei Kompensationswiderstände (7, 10) aufweist, die jeweils an einem zweiten Ort der Membran angeordnet sind,

- daß der Rahmen (2) mit mindestens zwei Rahmenwiderständen (13, 16) versehen ist, und

- daß die Kompensationswiderstände der Membran und die Rahmenwiderstände zu einer zweiten Ringschaltung bzw. Wheatstoneschen Meßbrücke bzw. Kompensationsbrücke (51) verschaltet sind.

6. Drucksensor nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens einer der Rahmenwiderstände (13, 16) derart im oder auf dem Rahmen (2) angeordnet ist, daß der elektrische Widerstand des Rahmenwiderstands (13, 16) auch bei einer (typischerweise geringen) Verformung des Rahmens (2) weitgehend konstant bleibt.

7. Drucksensor nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Meßwiderstände (5, 6, 8, 9, 11, 12, 14) und/oder die Kompensationswiderstände (7, 10) und/oder die Rahmenwiderstände (13, 16) piezoresistive Widerstände sind.

8. Drucksensor nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, daß ein piezoresistiver Rahmenwiderstand (13, 16) derart im oder auf dem Rahmen (2) angeordnet ist, daß dieser weitgehend piezounempfindlich gegenüber einer (typischerweise geringen) Verformung des Rahmens ist.

9. Meßanordnung (300) zur Messung des Absolut-

drucks und/oder des Differenzdrucks, dem ein Drucksensor (1; 200) nach einem der Ansprüche 1 bis 8 ausgesetzt ist, gekennzeichnet durch

- erste Mittel (53) zur Erfassung der durch die Druckdifferenz an mindestens einem Meßwiderstand (5, 6, 8, 9, 11, 12, 14, 15) hervorgerufenen Änderung des elektrischen Widerstands,
- zweite Mittel (54) zur Erfassung der durch die Druckdifferenz an mindestens einem Kompensationswiderstand (7, 10) der Membran hervorgerufenen Änderung des elektrischen Widerstands.

10. Meßanordnung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet,

- daß die ersten Mittel (53) die durch die Druckdifferenz zwischen den Zweigen einer aus vier Meßwiderständen (5, 6, 8, 9, 11, 12, 14, 15) der Membran (3) gebildeten Wheatstoneschen Meßbrücke (50) hervorgerufene Spannungsänderung erfassen, und
- daß die zweiten Mittel (54), die durch die Druckdifferenz zwischen den Zweigen einer aus zwei Kompensationswiderständen (7, 10) und zwei Rahmenwiderständen (13, 16) gebildeten Wheatstoneschen Kompensationsbrücke (51) hervorgerufene Spannungsänderung erfassen.

11. Meßanordnung nach Anspruch 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet,

- daß die ersten Mittel einen ersten Spannungs-/Stromwandler (53) aufweisen, über dessen Eingang die durch die Druckdifferenz hervorgerufene Spannungsänderung erfaßt ist, wobei über einen Ausgang (59) des ersten Spannungs-/Stromwandlers (53) ein erster elektrischer Strom abgegeben ist, der proportional zur Eingangsspannung am ersten Spannungs-/Stromwandler (53) ist,
- daß die zweiten Mittel (54) einen zweiten Spannungs-/Stromwandler (54) aufweisen, über dessen Eingang die durch die Druckdifferenz hervorgerufene Spannungsänderung erfaßt ist, wobei über einen Ausgang (60) des zweiten Spannungs-/Stromwandlers (54) ein zweiter elektrischer Strom abgegeben ist, der proportional zur Eingangsspannung am zweiten Spannungs-/Stromwandler (54) ist, wobei der zweite elektrische Strom ein gegenüber dem ersten elektrischen Strom umgekehrtes Vorzeichen aufweist, und
- daß eine Kompensationsschaltung den zweiten elektrischen Strom oder einen verstärkten zweiten elektrischen Strom von dem ersten elektrischen Strom subtrahiert.

12. Meßanordnung nach Anspruch 11, gekennzeichnet durch einen Verstärker zur Verstärkung des von dem zweiten Spannungs-/Stromwandler (54) abgegebenen zweiten elektrischen Stroms.

---

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

---

- Leerseite -

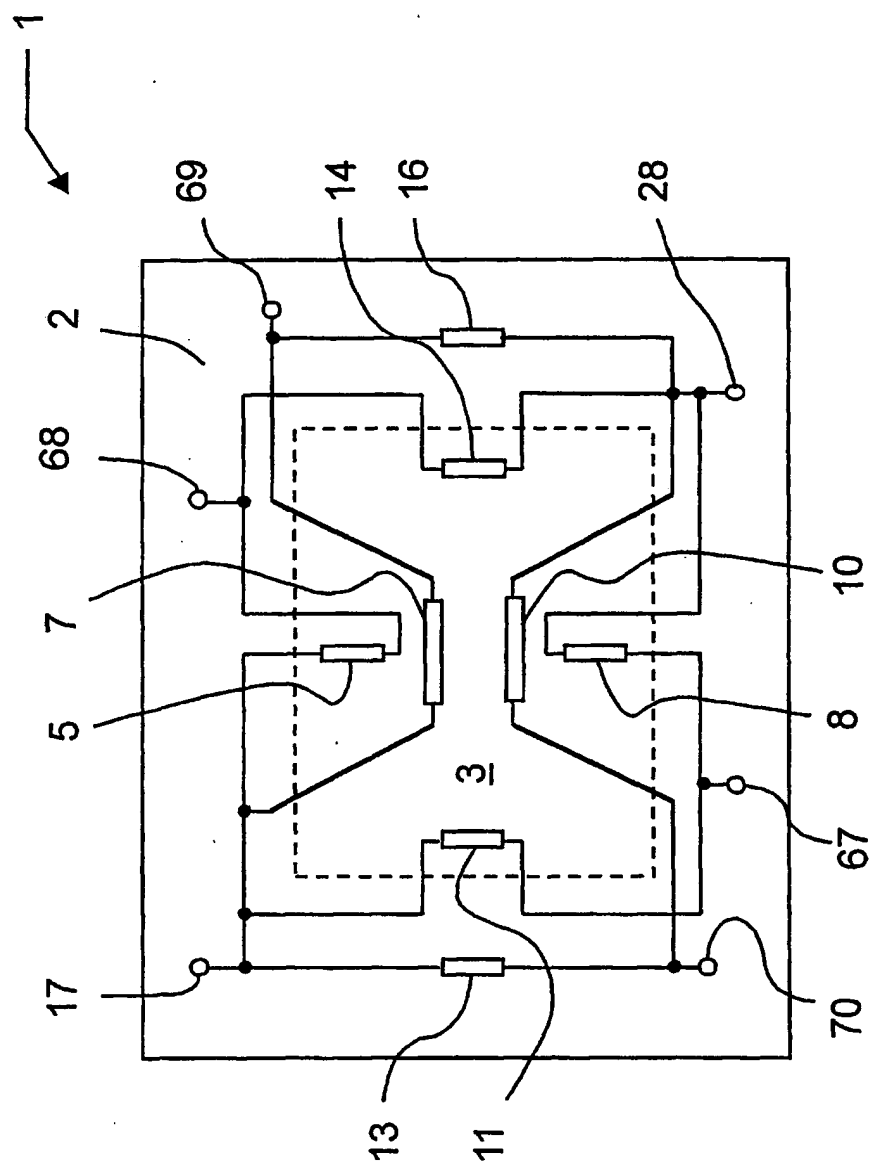


Fig. 1

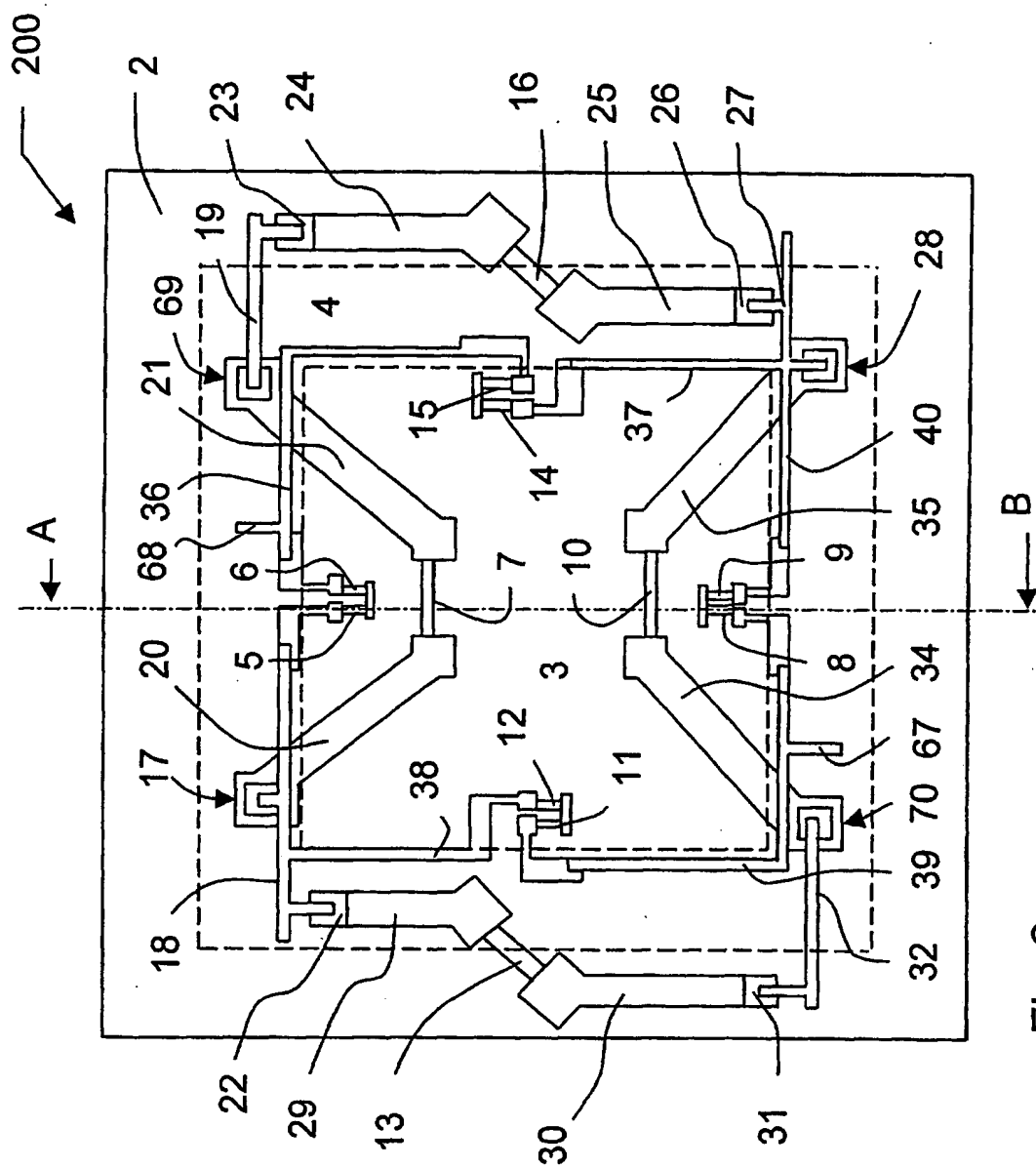


Fig. 2

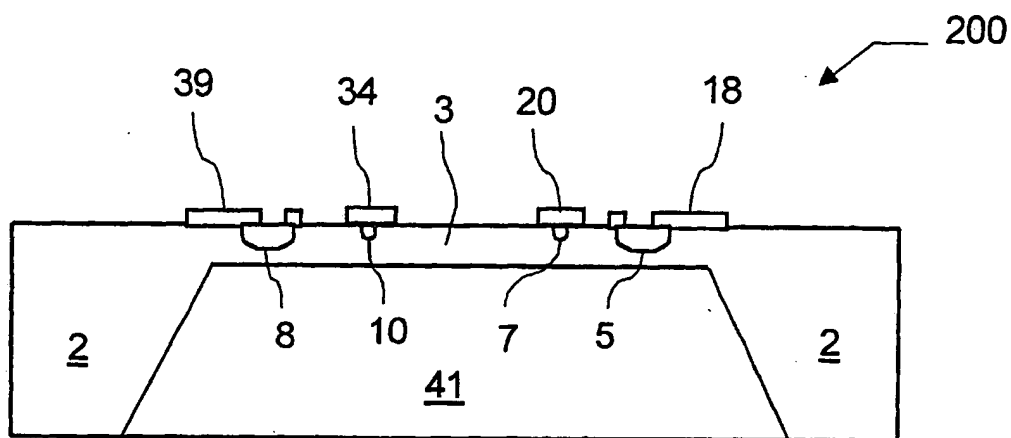


Fig. 3

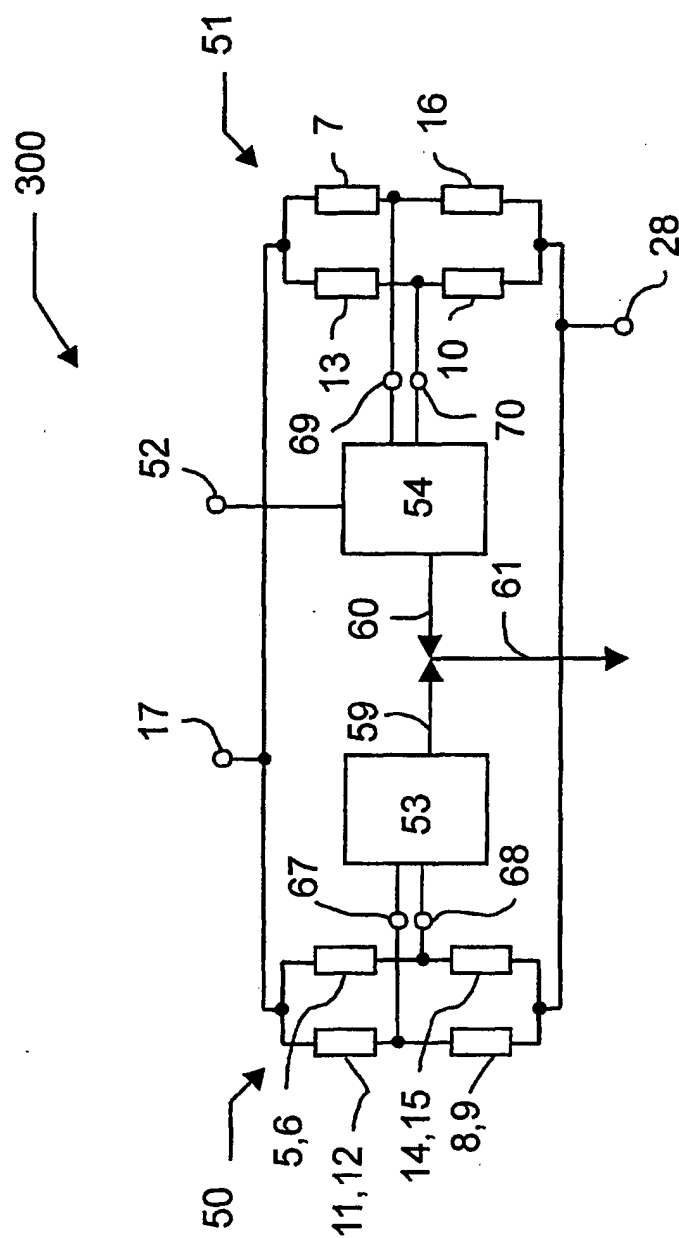


Fig. 4